

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-40238

(P2002-40238A)

(43) 公開日 平成14年2月6日(2002.2.6)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	FI	キーワード(参考)
G 0 2 B 5/28		G 0 2 B 5/28	2 H 0 4 1
1/10		26/02	E 2 H 0 4 8
26/02		27/18	Z 2 K 0 0 9
27/18		G 0 9 F 9/00	3 1 3 5 C 0 5 8
G 0 9 F 9/00	3 1 3	9/37	Z 5 C 0 9 4

審査請求 未請求 請求項の数26 OL (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-219599(P2000-219599)

(22) 出願日 平成12年7月19日(2000.7.19)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 石川 博一

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(74) 代理人 100098785

弁理士 藤島 洋一郎

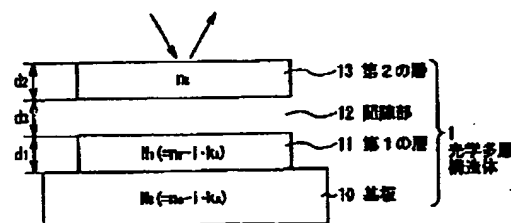
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学多層構造体および光スイッチング素子、並びに画像表示装置

(57) 【要約】

【課題】 簡単な構成で、小型軽量であると共に、構成材料の選択にも自由度があり、可視光領域においても高速応答が可能であり、画像表示装置に好適に用いることのできる光学多層構造体を提供する。

【構成】 光学多層構造体1は、基板10の上に、この基板10に接する、光の吸収のある第1の層11、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさを変化させることのできる間隙部12、および第2の層13をこの順で配設した構造を有する。間隙部12の大きさを変化させることにより、入射した光の反射、透過若しくは吸収の量を変化させることができる。基板10は例えばカーボン(C)、第1の層11は例えばタンタル(Ta)、第2の層13は例えば窒化珪素(Si, N)によりそれぞれ形成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、光の吸収のある第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、および第2の層を配設した構造を有することを特徴とする光学多層構造体。

【請求項2】 前記基板上に、前記第1の層、前記間隙部および前記第2の層がこの順で配設されていることを*

$$\left\{ \left(n_1 - \frac{n_2^2 + 1}{2} \right)^2 + k_1^2 - \left(\frac{n_2^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} \left\{ \left(n_s - \frac{n_2^2 + 1}{2} \right)^2 + k_s^2 - \left(\frac{n_2^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} < 0$$

... (1)

ことを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項4】 前記第2の層は、透明材料により形成されたものであることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項5】 前記基板は、光の吸収のある基板若しくは光の吸収のある薄膜を成膜した基板であることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項6】 前記基板は、透明材料若しくは半透明材料により形成されたものであることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項7】 更に、前記間隙部の光学的な大きさを变化させる駆動手段を有し、前記駆動手段によって前記間隙部の大きさを变化させることにより、入射した光の反射、透過若しくは吸収の量を変化させることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項8】 前記駆動手段によって、前記間隙部の光学的な大きさを、 $\lambda/4$ の奇数倍と $\lambda/4$ の偶数倍（0を含む）との間で、2値的あるいは連続的に变化させることで、入射光の反射、透過若しくは吸収の量を2値的あるいは連続的に变化させることを特徴とする請求項7記載の光学多層構造体。

【請求項9】 前記第1の層および第2の層のうちの少なくとも一方の層は、互いに光学的特性の異なる2以上の層により構成された複合層であることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項10】 前記第2の層は、窒化珪素膜よりなることを特徴とする請求項4記載の光学多層構造体。

【請求項11】 前記第2の層は、窒化珪素膜および透明導電膜よりなることを特徴とする請求項10記載の光学多層構造体。

【請求項12】 前記第1の層および第2の層のうちの少なくとも一方は、一部に透明導電膜を含み、前記駆動手段は、前記透明導電膜への電圧の印加によって発生した静電力により、前記間隙部の光学的な大きさを变化させるものであることを特徴とする請求項7記載の光学多層構造体。

【請求項13】 前記透明導電膜は、ITO、 SnO_2 、および ZnO のうちのいずれかにより形成されていることを特徴とする請求項12記載の光学多層構造体。

* 特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項3】 前記基板の複素屈折率を N_s （ $= n_s - i \cdot k_s$ 、 n_s は屈折率、 k_s は消衰係数、 i は虚数単位）、前記第1の層の複素屈折率を N_1 （ $= n_1 - i \cdot k_1$ 、 n_1 は屈折率、 k_1 は消衰係数）、前記第2の層の屈折率を n_2 、入射媒質の屈折率を1.0としたとき、次式（1）の関係を満たす

【請求項14】 前記間隙部は、空気、または透明な気体若しくは液体で満たされていることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項15】 前記間隙部は、真空状態であることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項16】 前記光の吸収のある第1の層は、金属、酸化金属、窒化金属、炭化物および半導体のうちのいずれかからなることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項17】 前記光の吸収のある基板若しくは光の吸収のある薄膜は、金属、酸化金属、窒化金属、炭化物および半導体のうちのいずれかからなることを特徴とする請求項5記載の光学多層構造体。

【請求項18】 前記第2の層の光学的な膜厚が、 $\lambda/4$ （ λ は入射光の設計波長）以下であることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項19】 前記第1の層がシリコンにより形成され、かつ、前記第2の層の光学的な膜厚が、 $\lambda/2$ （ λ は入射光の設計波長）以下であることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項20】 前記基板は、カーボン、グラファイト、炭化物若しくは透明材料により形成され、かつ、前記第2の層の光学的な膜厚が、 $\lambda/4$ （ λ は入射光の設計波長）以下であることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項21】 前記基板がカーボン、グラファイト、炭化物若しくは透明材料により形成されると共に、前記第1の層がシリコンにより形成され、かつ、前記第2の層の光学的な膜厚が、 $\lambda/2$ （ λ は入射光の設計波長）以下であることを特徴とする請求項1記載の光学多層構造体。

【請求項22】 前記駆動手段は、磁力を用いて前記間隙部の光学的な大きさを变化させるものであることを特徴とする請求項7記載の光学多層構造体。

【請求項23】 基板と、この基板に接して形成された、光の吸収のある第1の層と、

この第1の層の前記基板とは反対側の面に接して形成された第2の層とを備えたことを特徴とする光学多層構造

体。

【請求項24】 前記基板は、光を透過しない基板であることを特徴とする請求項23記載の光学多層構造体。

【請求項25】 基板上に、光の吸収のある第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、および第2の層を配設した構造を有する光学多層構造体と、

前記間隙部の光学的な大きさを变化させるための駆動手段とを備えたことを特徴とする光スイッチング素子。

【請求項26】 1次元または2次元に配列された複数の光スイッチング素子に光を照射することで2次元画像を表示する画像表示装置であって、

前記光スイッチング素子が、

基板上に、光の吸収のある第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、および第2の層を配設した構造を有する光学多層構造体と、

前記間隙部の光学的な大きさを变化させるための駆動手段とを備えたことを特徴とする画像表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、入射光を反射、透過若しくは吸収させる機能を有する光学多層構造体、およびこれを用いた光スイッチング素子並びに画像表示装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、映像情報の表示デバイスとしてのディスプレイの重要性が高まっており、このディスプレイ用の素子として、更には、光通信、光記憶装置、光プリンタなどの素子として、高速で動作する光スイッチング素子（ライトバルブ）の開発が要望されている。従来、この種の素子としては、液晶を用いたもの、マイクロミラーを用いたもの（DMD: Digital Micro Mirror Device、デジタルマイクロミラーデバイス、テキサスインスツルメンツ社の登録商標）、回折格子を用いたもの（GLV: Grating Light Valve、グレーティングライトバルブ、SLM（シリコンライトマシン）社）等がある。

【0003】 GLVは回折格子をMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）構造で作製し、静電力で10⁴ n/sの高速ライトスイッチング素子を実現している。DMDは同じくMEMS構造でミラーを動かすことによりスイッチングを行うものである。これらのデバイスを用いてプロジェクタ等のディスプレイを実現できるものの、液晶とDMDは動作速度が遅いために、ライトバルブとしてディスプレイを実現するためには2次元配列しなければならず、構造が複雑となる。一方、GLVは高速駆動型であるので、1次元アレイを走査することでプロジェクションディスプレイを実現することができる。

【0004】 しかしながら、GLVは回折格子構造であるので、1ピクセルに対して8つの素子を作り込んだり、2方向に出た回折光を何らかの光学系で1つにまとめる必要があるなどの複雑さがある。

【0005】 簡単な構成で実現できるものとしては、米国特許公報5589974号や米国特許公報5500781号に開示されたものがある。このライトバルブは、基板（屈折率 n_s ）の上に間隙部（ギャップ層）を挟んで、屈折率が $\sqrt{n_s}$ の透光性の薄膜を設けた構造を有している。この素子では、静電力を利用して薄膜を駆動し、基板と薄膜との間の距離、すなわち、間隙部の大きさを变化させることにより、光信号を透過あるいは反射させるものである。ここで、薄膜の屈折率は基板の屈折率 n_s に対して、 $\sqrt{n_s}$ となっており、このような関係を満たすことにより、高コントラストの光変調を行うことができることとされている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上述のような構成の素子では、基板の屈折率 n_s が「4」などの大きな値でなければ、可視光領域においては実現することはできないという問題がある。すなわち、透光性薄膜としては、構造体であることを考えると、窒化珪素（Si₃N₄）（屈折率 $n=2.0$ ）などの材料が望ましいので、その場合には基板の屈折率 $n_s=4$ となる。可視光領域では、このような透明基板は入手が困難であり、材料の選択肢は狭い。赤外線等の通信用波長では、ゲルマニウム（Ge）（ $n=4$ ）などを用いることにより実現可能であるが、ディスプレイなどの用途としては、現実的には適用することは難しいと思われる。

【0007】 本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その第1の目的は、簡単な構成で、小型軽量であると共に、構成材料の選択にも自由度があり、かつ可視光領域においても高速応答が可能であり、画像表示装置等に好適に用いることができる光学多層構造体を提供することにある。

【0008】 また、本発明の第2の目的は、上記光学多層構造体を用いた高速応答が可能な光スイッチング素子および画像表示装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】 本発明による光学多層構造体は、基板上に、光の吸収のある第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、および第2の層を配設した構造を有するものであり、特に、第1の層、間隙部および第2の層をこの順で配設した構成のものが望ましい。

【0010】 本発明の光学多層構造体では、基板の複素屈折率を $N_s (=n_s - i \cdot k_s)$ 、 n_s は屈折率、 k_s は消衰係数、 i は虚数単位）、第1の層の複素屈折率を $N_1 (=n_1 - i \cdot k_1)$ 、 n_1 は屈折率、 k_1 は消衰係数）、第2の層の屈折率を n_2 、入射媒質の屈折率を

1. 0としたとき、次式(2)の関係を満たすように構成することが好ましい。

$$\left\{ \left(m - \frac{n_1^2 + 1}{2} \right)^2 + k_1^2 - \left(\frac{n_1^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} \left\{ \left(m - \frac{n_2^2 + 1}{2} \right)^2 + k_2^2 - \left(\frac{n_2^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} < 0 \quad \dots (2)$$

【0012】本発明による光スイッチング素子は、本発明の光学多層構造体と、この光学多層構造体における間隙部の光学的な大きさを変化させるための駆動手段とを備えたものである。

【0013】本発明による画像表示装置は、本発明による光スイッチング素子を複数個、1次元あるいは2次元に配列したものであり、3原色の光を照射し、スキャナによって走査することで2次元画像を表示するものである。

【0014】本発明による光学多層構造体では、間隙部の大きさを、「 $\lambda/4$ 」(λ は入射光の設計波長)の奇数倍と「 $\lambda/4$ 」の偶数倍(0を含む)との間で、2値的あるいは連続的に変化させると、入射光の反射、透過若しくは吸収の量が2値的あるいは連続的に変化する。

【0015】本発明の光学多層構造体では、また、間隙部の大きさを0に固定し、基板と、この基板に接して形成された、光の吸収のある第1の層と、この第1の層の前記基板とは反対側の面に接して形成された第2の層とを備えた構成とすることにより、反射防止膜として利用することが可能になる。

【0016】本発明による光スイッチング素子では、駆動手段によって、光学多層構造体の間隙部の光学的な大きさが変化することにより、入射光に対してスイッチング動作がなされる。

【0017】本発明による画像表示装置では、1次元あるいは2次元に配列された本発明の複数の光スイッチング素子に対して光が照射されることによって2次元画像が表示される。

【0018】

$$\left\{ \left(m_1 - \frac{n_1^2 + 1}{2} \right)^2 + k_1^2 - \left(\frac{n_1^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} \left\{ \left(m_2 - \frac{n_2^2 + 1}{2} \right)^2 + k_2^2 - \left(\frac{n_2^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} < 0 \quad \dots (3)$$

【0023】基板10は、カーボン(C)、グラファイト(黒鉛)などの非金属、タンタル(Ta)などの金属、酸化クロム(CrO)などの酸化金属、窒化チタン(TiN_x)などの窒化金属、シリコンカーバイド(SiC)などの炭化物、シリコン(Si)などの半導体等の、不透明で光の吸収のある材料により形成されたもの、あるいは、これら光の吸収のある材料の薄膜を透明基板上に成膜したものととしてもよい。基板10は、また、例えばガラス、プラスチックなどの透明材料若しくは消費係数kの値の低い半透明材料により形成されたものとしてもよい。

※【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0019】図1および図2は、本発明の一実施の形態に係る光学多層構造体1の基本的な構成を表すものである。図1は光学多層構造体1における後述の間隙部12が存在し、高反射時の状態、図2は光学多層構造体1の間隙部12がなく、低反射時の状態をそれぞれ示している。なお、この光学多層構造体1は具体的には例えば光スイッチング素子として用いられ、この光スイッチング素子を複数個1次元または2次元に配列することにより、画像表示装置を構成することができる。また、詳細は後述するが、図2のような構造に固定した場合には、反射防止膜として利用することができるものである。

【0020】本実施の形態の光学多層構造体1は、基板10の上に、この基板10に接する、光の吸収のある第1の層11、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさを変化させることのできる間隙部12、および第2の層13をこの順で配設して構成したものである。

【0021】ここで、基板10の複素屈折率をN₀ (= n₀ - i · k₀、n₀は屈折率、k₀は消費係数、iは虚数単位)、第1の層11の複素屈折率をN₁ (= n₁ - i · k₁、n₁は屈折率、k₁は消費係数、iは虚数単位)、第2の層13の屈折率をn₂、入射媒質の屈折率を1.0(空気)としたとき、次式(3)の関係を満たすように設定されている。なお、その意義については後述する。

【0022】

【0024】第1の層11は、光の吸収のある層であり、例えばTa、Ti、Crなどの金属、CrOなどの酸化金属、TiN_xなどの窒化金属、SiCなどの炭化物、シリコン(Si)などの半導体などにより形成されたものである。

【0025】第2の層13は、透明材料により形成されたものであり、例えば、酸化チタン(TiO₂) (n₂ = 2.4)、窒化珪素(Si₃N₄) (n₂ = 2.0)、酸化亜鉛(ZnO) (n₂ = 2.0)、酸化ニオブ(Nb₂O₅) (n₂ = 2.2)、酸化タンタル(Ta₂O₅) (n₂ = 2.1)、酸化珪素(SiO₂) (n₂ = 1.46)などの透明材料により形成されたものである。

$n_1 = 2.0$), 酸化スズ (SnO_2) ($n_1 = 2.0$), ITO (Indium-Tin Oxide) ($n_1 = 2.0$) などにより形成されている。

【0026】なお、この第2の層13は、スイッチング動作時においては、後述のように可動部として作用するため、特に、ヤング率が高く、丈夫なSi, N, などで形成されたものであることが好ましい。また、静電気により駆動する場合には、第2の層13の一部にITOなどの透明導電膜を含めるようにすればよい。Si, N, とITOの屈折率は同等であるので、それぞれの程度の膜厚にするかは任意である。また、第1の層11と第2の層13とが接触する場合には、接触時に電氣的に短絡しないように、第2の層13の基板側をSi, N, , 入射媒質側をITOとすることが望ましい。

【0027】第1の層11の物理的な膜厚 d_1 は、入射光の波長、その材料の n と k の値、基板および第2の層13の光学定数により決まるもので、例えば5~60nm程度の値をとる。

【0028】第2の層13の光学的な膜厚 $n_2 \cdot d_2$ は、基板10がカーボン、グラファイト、炭化物若しくはガラスなどの透明材料により形成されており、かつ、第1の層11がタンタル(Ta)などの消衰係数 k の大きな金属材料等により形成されている場合には、「 $\lambda/4$ 」(λ は入射光の設計波長)以下である。但し、基板10がカーボン、グラファイト、炭化物若しくはガラスなどの透明材料により形成され、かつ、第1の層11がシリコン(Si)などの消衰係数 k の小さな材料により形成されている場合には、第2の層13の光学的な膜厚 d_2 は「 $\lambda/4$ 」より大きく、「 $\lambda/2$ 」以下である。これは第1の層11をSiにより形成した場合の光学アドミッタンスの軌跡がアドミッタンスダイアグラム上で上方に移動するため、第2の層12との交点を実軸よりも上側(虚軸上で+側)となるためである。

【0029】なお、以上の膜厚 d_1 , d_2 は厳密に「 $\lambda/4$ 」「 $\lambda/2$ 」でなくとも、これらの近傍の値でもよい。これは、例えば、一方の層の光学膜厚が $\lambda/4$ より厚くなった分、他方の層を薄くするなどして補完できるからであり、また、上式(3)から屈折率が多少ずれた場合でも、膜厚で調整可能な場合もあり、その際には d_1 , d_2 が $\lambda/4$ から多少ずれることになるからである。このことは他の実施の形態においても同様である。よって、本明細書においては、「 $\lambda/4$ 」の表現には「ほぼ $\lambda/4$ 」の場合も含まれるものとする。

【0030】なお、第1の層11および第2の層13は、互いに光学的特性の異なる2以上の層で構成された複合層としてもよいが、この場合には複合層における合成した光学的特性(光学アドミッタンス)が単層の場合と同等な特性を有するものとする必要がある。

【0031】間隙部12は、後述の駆動手段によって、その光学的な大きさ(第1の層11と第2の層13との

間隔)が可変であるように設定されている。間隙部12を埋める媒体は、透明であれば気体でも液体でもよい。気体としては、例えば、空気(ナトリウムD線(589.3nm)に対する屈折率 $n_0 = 1.0$)、窒素(N_2)($n_0 = 1.0$)など、液体としては、水($n_0 = 1.333$)、シリコンオイル($n_0 = 1.4 \sim 1.7$)、エチルアルコール($n_0 = 1.3618$)、グリセリン($n_0 = 1.4730$)、ジョードメタン($n_0 = 1.737$)などが挙げられる。なお、間隙部12を真空状態とすることもできる。

【0032】間隙部12の光学的な大きさは、「 $\lambda/4$ の奇数倍」と「 $\lambda/4$ の偶数倍(0を含む)」との間で、2値的あるいは連続的に変化するものである。これにより入射光の反射、透過若しくは吸収の量が2値的あるいは連続的に変化する。なお、上記第1の層11および第2の層13の膜厚の場合と同様に、 $\lambda/4$ の倍数から多少ずれても、他の層の膜厚あるいは屈折率の多少の変化で補完できるので、「 $\lambda/4$ 」の表現には、「ほぼ $\lambda/4$ 」の場合も含まれるものとする。

【0033】このような間隙部12を有する光学多層構造体1は、図3および図4に示した製造プロセスにより作製することができる。まず、図3(A)に示したように例えばカーボンからなる基板10の上に、例えばスパッタリング法によりTaからなる第1の層11を形成し、次いで、図3(B)に示したように例えばCVD (Chemical Vapor Deposition: 化学的気相成長)法により犠牲層としての非晶質シリコン(a-Si)膜12aを形成する。続いて、図3(C)に示したように、間隙部12のパターン形状を有するフォトレジスト膜14を形成し、図3(D)に示したようにこのフォトレジスト膜14をマスクとして、例えばRIE (Reactive Ion Etching)により非晶質シリコン(a-Si)膜12aを選択的に除去する。

【0034】次に、図4(A)に示したようにフォトレジスト膜14を除去した後、図4(B)に示したように例えばスパッタリング法によりSi, N, からなる第2の層13を形成する。次いで、図4(C)に示したように、ドライエッチングにより非晶質シリコン(a-Si)膜12aを除去する。これにより、間隙部12を備えた光学多層構造体1を作製することができる。

【0035】本実施の形態の光学多層構造体1は、間隙部12の光学的な大きさを、 $\lambda/4$ の奇数倍と $\lambda/4$ の偶数倍(0を含む)との間(例えば、「 $\lambda/4$ 」と「0」の間)で、2値的あるいは連続的に変化させることによって、入射した光の反射、透過若しくは吸収の量を変化させるものである。

【0036】次に、図5(A), (B)および図6(A), (B)を参照して、上記式(3)の意義について説明する。

【0037】上記のような光学多層構造体1のフィルタ

11

12

$$\left\{ \left(n_1 - \frac{n_2^2 + 1}{2} \right)^2 - \left(\frac{n_2^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} \left\{ \left(n_2 - \frac{n_3^2 + 1}{2} \right)^2 - \left(\frac{n_3^2 - 1}{2} \right)^2 \right\} < 0$$

... (5)

【0048】よって、このように構成した光学多層膜の第1の層11と第2の層13との間に、大きさが可変な間隙部13を設けると、その間隔d、が「0」のときには反射防止膜（図2参照）、d、が設計波長λに対して光学的にはば「λ/4」のときには反射膜となる（図1参照）。つまり、間隙部13の大きさを「0」と「λ/4」との間で可変とすることで、反射率を0と70%以上とに変えることができる光学スイッチング素子を実現することが可能になる。

【0049】このような光学多層構造体1の材料としては、上記のような制約を満足すればよく、その選定の自由度は広い。また、その構成も、基板10に間隙部12を含めて3層構造を形成するだけでよいので、製作は容易である。以下、具体的な例を挙げて説明する。

【0050】〔具体例〕図8は、基板10として不透明なカーボン基板（ $n_s = 1.90$, $k = 0.75$ ）、第1の層11としてTa層（ $n_1 = 2.46$, $k = 1.90$ ）、間隙部12として空気層（ $n = 1.00$ ）、第2の層13としてSi, N, 膜とITO（Indium-Tin Oxide）膜との積層膜（合成屈折率 $n_2 = 2.0$, $k = 0$ ）を用いた場合の入射光の波長（設計波長550nm）と反射率との関係を表すものである。ここで、（a）は間隙部（空気層）の光学膜厚が「0」（低反射側）、

（b）は光学膜厚が「λ/4」（137.5nm）（高反射側）の場合の特性をそれぞれ表している。図9および図10は、このときの光学アドミッタンスダイアグラムを参考として表すもので、図9は低反射側、図10は高反射側の場合をそれぞれ示している。

【0051】図8からも明らかなように、本実施の形態の光学多層構造体1では、間隙部（空気層）12の光学膜厚が「λ/4」の場合には高反射特性、間隙部12の光学膜厚が「0」の場合には低反射特性をそれぞれ示す。すなわち、間隙部12の光学膜厚が「λ/4」の奇数倍と「λ/4」の偶数倍（0を含む）との間で切り替わると、高反射特性と低反射特性とを交互に示すことになる。

【0052】ところで、第1の層11に消衰係数 k_1 の大きな金属膜（例えばTa, $k_1 = 1.90$ ）を用いる場合には、第2の層13の光学膜厚は「λ/4」となるが、第1の層11に k_1 の小さな半導体材料（例えばSi, $k_1 = 0.63$ ）を用いる場合には、第2の層13の光学膜厚は「λ/4」より大きくなる（但し、λ/2より小さい）。その具体例として、例えば、基板10をグラファイト（屈折率 $n_s = 1.90$, $k = 0.75$ ）、第1の層11をシリコン（屈折率 $n_1 = 4.4$, $k = 0.63$, 膜厚13.09nm）、第2の層1

3をSi, N, 膜とITO（Indium-Tin Oxide）膜との積層膜（合成屈折率 $n_2 = 2.0$, $k = 0$, 膜厚83.21nm）により形成した場合の反射特性（設計波長550nm）を図11に示す。ここでも、（a）は間隙部（空気層）の光学膜厚が「0」（低反射側）、（b）は光学膜厚が「λ/4」（137.5nm）（高反射側）の場合の特性をそれぞれ表している。図12および図13はそのときの光学アドミッタンスダイアグラムを表すものである。図12は低反射側、図13は高反射側の場合をそれぞれ示している。

【0053】上記2つの例では、基板10として不透明なカーボンやグラファイトを想定している。カーボンやグラファイトの光学アドミッタンス（複素屈折率と同じ値）は、アドミッタンスダイアグラム上で屈折率が2.0の透明膜が（1, 0）を通るように描いた円弧の軌跡の内側にあるので、基板10として好適である。多くの金属材料の光学アドミッタンスはその円の外側に配置されるからである。

【0054】参考のために、図14に各材料の光学アドミッタンスをプロットしたアドミッタンスダイアグラムを示す。図14には、同時に、 $n = 2$ およびTiO₂（ $n = 2.4$ ）が空気のアドミッタンス（1, 0）を通る軌跡も示した。この円弧の中の材料を基板10、円弧の外にある材料を第1の層11、円弧上の材料を第2の層13とすれば、反射率が低い（ほぼ0）の膜厚の組み合わせが必ずある。例えば、基板10をカーボン（図中のC）、第1の層11を $n = 2$ の円弧の外側の材料（図中の殆ど全ての材料）、第2の層13を $n = 2$ の材料（Si, N, ITO, ZnOなど）により形成すれば、良好な特性の光学スイッチング素子を実現することができる。

【0055】また、第2の層13としてTiO₂を用いた場合には、基板10をシリコン（Si）、カーボン（C）、タンタル（Ta）、ゲルマニウム（Ge）フィルム、グラファイト、ガラスなどから選び、第1の層11は図中のそれ以外の金属などから選べば、良好な特性の光学スイッチング素子を実現することができる。

【0056】なお、図14には、代表的な金属材料、半導体などをプロットしたが、他の材料でもこの図にプロットし、円弧の中か外かに注目すると、良い組み合わせの材料を容易に選ぶことができる。

【0057】ところで、上述のような第2の層13の円弧の内と外に基板10と第1の層11の光学特性があることは、良好な特性の光学構造を実現するための十分条件ではあるが、必要条件ではない。なぜならば、光の吸収のある（すなわち、 $k \neq 0$ ）膜がある基板10に成膜

するときの合成光学アドミッタンスの軌跡は、基板10のアドミッタンスから直線的に成膜する材料の光学アドミッタンスへと向かうのではなく、大きく弯曲しながら、成膜材料の光学アドミッタンスへと向かう。そのために、湾曲度が大きいと、先の第2の層13の円弧の内側に第1の層11の光学アドミッタンスがあっても、合成光学アドミッタンスが第2の層13の円弧を横切ることがある。

【0058】図15はその例を表すものであり、カーボン(C)からなる基板10の上に第1の層11としてグラファイトを成膜していくと、湾曲して $n=2$ の円弧を2回横切る。このどちらかの点で、 $n=2$ の膜(例えばSi, N, ITO, ZnOなど)に乗り換えるような膜厚の設定とすれば、特性の良い光学多層構造体1を実現することができる。

【0059】このように本実施の形態では、例えば550nmなどの可視光領域においても、低反射時の反射率を殆ど0、高反射時の反射率を70%以上とすることができるので、高コントラストな変調を行うことが可能である。しかも、構成が簡単であるので、GLVなどの回折格子構造やDMDなどの複雑な3次元構造よりも容易に作製することができる。また、GLVは1つのピクセルに6本の格子状のリボンが必要であるが、本実施の形態では1本で済むので、構成が簡単であり、かつ小さく作製することが可能である。また、可動部分の移動範囲も高々「 $\lambda/2$ 」であるため、10nsレベルの高速応答が可能になる。よって、ディスプレイ用途のライトバルブとして用いる場合には、後述のように1次元アレイの簡単な構成で実現することができる。

【0060】更に、本実施の形態の光学多層構造体1は、間隙部を金属薄膜や反射層で挟んだ構造の狭帯域透過フィルタ、すなわちファブリーペロータイプのものとは本質的に異なるものであるため、低反射帯の帯域幅を広くすることができる。よって、製作時の膜厚管理のマージンを比較的広くとることが可能であり、設計の自由度が増す。

【0061】また、本実施の形態では、基板10および第1の層11の屈折率はある範囲の任意の値であれば良いため、材料の選択の自由度が広がる。また、基板10を不透明な材料により構成した場合には、低反射時において入射光は基板10に吸収されるので、透光などが発生する心配はなくなる。

【0062】以上のように、本実施の形態の光学多層構造体1を用いることにより、高速で小型の光スイッチング素子および画像表示装置を実現することができる。これらの詳細については後述する。

【0063】なお、上記実施の形態では、光学多層構造体1の間隙部を一層としたが、複数層、例えば図16に示したように2層設けるようにしてもよい。これは、基板10上に、第1の層11、第1の間隙部12、第2の

層13、第2の間隙部30、第3の透明層31をこの順に形成し、第2の層13および第3の透明層31をそれぞれ例えば窒化シリコンからなる支持体15、32により支持する構成としたものである。

【0064】この光学多層構造体では、中間の第2の層13が上下に変位し、第1の間隙部12と第2の間隙部30の一方の間隙が狭くなった分、他方の間隙部が広まることにより反射特性が変化する。

【0065】〔駆動方法〕次に、上記光学多層構造体1における間隙部12の大きさを変化させるための具体的な手段について説明する。

【0066】図17は、静電気により光学多層構造体を駆動する例を示している。この光学多層構造体は、透明基板10の上の第1の層11の両側にそれぞれ例えばアルミニウムからなる電極16a、16aを設けると共に、第2の層13を例えば窒化シリコン(Si, N,)からなる支持体15により支持し、この支持体15の電極16a、16aに対向する位置に電極16b、16bを形成したものである。

【0067】この光学多層構造体では、電極16a、16aおよび電極16b、16bへの電圧印加による電位差で生じた静電引力によって、間隙部12の光学膜厚を、例えば「 $\lambda/4$ 」と、「0」との間、あるいは「 $\lambda/4$ 」と「 $\lambda/2$ 」との間で2値的に切り替える。勿論、電極16a、16a、電極16b、16bへの電圧印加を連続的に変化させることにより、間隙部12の大きさをある値の範囲で連続的に変化させ、入射した光の反射、若しくは透過あるいは吸収等の量を連続的(アナログ的)に変化させるようにすることもできる。

【0068】光学多層構造体を静電気で駆動するものとしては、その他、図18および図19に示した方法によってもよい。図18に示した光学多層構造体1は、透明基板10の上の第1の層11上に例えばITO(Indium-Tin Oxide)からなる透明導電膜17aを設けると共に、例えば SiO_2 からなる第2の層13を架橋構造に形成し、この第2の層13の外面に同じくITOからなる透明導電膜17bを設けたものである。

【0069】この光学多層構造体では、透明導電膜17a、17b間への電圧印加による電位差で生じた静電引力によって、間隙部12の光学膜厚を切り替えることができる。

【0070】図19に示した光学多層構造体では、図18の光学多層構造体の透明導電膜17aの代わりに、導電性のある第1の層11として例えばタンタル(Ta)膜を配したものである。

【0071】光学多層構造体の駆動は、このような静電気の他、トグル機構や圧電素子などのマイクロマシンを用いる方法、磁力を用いる方法や、形状記憶合金を用いる方法など、種々考えられる。図20(A)、(B)は磁力を用いて駆動する態様を示したものである。この光

字多層構造体では、第2の層13の上に開孔部を有するコバルト(Co)などの磁性材料からなる磁性層40を設けると共に基板10の下部に電磁コイル41を設けたものであり、この電磁コイル41のオン・オフの切り替えにより、間隙部12の間隔を例えば「 $\lambda/4$ 」(図20(A))と「0」(図20(B))との間で切り替え、これにより反射率を変化させることができる。

【0072】〔光スイッチング装置〕図21は、上記光字多層構造体1を用いた光スイッチング装置100の構成を表すものである。光スイッチング装置100は、例えばカーボンからなる基板101上に複数(図では4個)の光スイッチング素子100A~100Dを一次元アレイ状に配設したものである。なお、1次元に限らず、2次元に配列した構成としてもよい。この光スイッチング装置100では、基板101の表面の一方(素子配列方向)に沿って例えばTa膜102が形成されている。このTa膜102が上記実施の形態の第1の層11に対応している。

【0073】基板101上には、Ta膜102に対して直交する方向に、複数本のSi、N、膜105が配設されている。Si、N、膜105の外側には透明導電膜としてのITO膜106が形成されている。これらITO膜106およびSi、N、膜105が上記実施の形態の第2の層13に対応するもので、Ta膜102を跨ぐ位置において架橋構造となっている。Ta膜102とITO膜106との間には、スイッチング動作(オン・オフ)に応じてその大きさが変化する間隙部104が設けられている。間隙部104の光学膜厚は、入射光の波長($\lambda=550\text{nm}$)に対しては、例えば「 $\lambda/4$ 」(137.5nm)と「0」との間で変化するようにしている。

【0074】光スイッチング素子100A~100Dは、Ta膜102およびITO膜106への電圧印加による電位差で生じた静電引力によって、間隙部104の光学膜厚を、例えば「 $\lambda/4$ 」と「0」との間で切り替える。図21では、光スイッチング素子100A、100Cが間隙部104が「0」の状態(すなわち、低反射状態)、光スイッチング素子100B、100Dが間隙部104が「 $\lambda/4$ 」の状態(すなわち、高反射状態)を示している。なお、Ta膜102およびITO膜106と、電圧印加装置(図示せず)とにより、本発明の「駆動手段」が構成されている。

【0075】この光スイッチング装置100では、Ta膜102を接地して電位を0Vとし、第2の層側に形成されたITO膜106に例えば+12Vの電圧を印加すると、その電位差によりTa膜102とITO膜106との間に静電引力が発生し、図21では光スイッチング素子100A、100Cのように第1の層と第2の層とが密着し、間隙部104が「0」の状態となる。この状態では、入射光Pは上記多層構造体を透過し、更に基

板21に吸収される。

【0076】次に、第2の層側の透明導電膜106を接地させ電位を0Vにすると、Ta膜102とITO膜106との間の静電引力がなくなり、図21では光スイッチング素子100B、100Dのように第1の層と第2の層との間が離間して、間隙部12が「 $\lambda/4$ 」の状態となる。この状態では、入射光Pは反射され、反射光Pとなる。

【0077】このようにして、本実施の形態では、光スイッチング素子100A~100D各々において、入射光Pを静電力により間隙部を2値に切り替えることによって、反射光がない状態と反射光Pが発生する状態の2値に切り替えて取り出すことができる。勿論、前述のように間隙部の大きさを連続的に変化させることにより、入射光Pを反射がない状態から反射光Pが発生する状態に連続的に切り替えることも可能である。

【0078】これら光スイッチング素子100A~100Dでは、可動部分の動かなくてはならない距離が、大きくても入射光の「 $\lambda/2$ (あるいは $\lambda/4$)」程度であるため、応答速度が10ns程度に十分高速である。よって、一次元アレイ構造で表示用のライトバルブを実現することができる。

【0079】加えて、本実施の形態では、1ピクセルに複数の光スイッチング素子を割り当てれば、それぞれ独立に駆動可能であるため、画像表示装置として画像表示の階調表示を行う場合に、時分割による方法だけではなく、面積による階調表示も可能である。

【0080】〔画像表示装置〕図22は、上記光スイッチング装置100を用いた画像表示装置の一例として、プロジェクションディスプレイの構成を表すものである。ここでは、光スイッチング素子100A~100Dからの反射光Pを、画像表示に使用する例について説明する。

【0081】このプロジェクションディスプレイは、赤(R)、緑(G)、青(B)各色のレーザからなる光源200a、200b、200cと、各光源に対応して設けられた光スイッチング素子アレイ201a、201b、201c、ダイクロイックミラー202a、202b、202c、プロジェクションレンズ203、1軸スキャナとしてのガルバノミラー204および投射スクリーン205を備えている。なお、3原色は、赤緑青の他、シアン、マゼンダ、イエローとしてもよい。スイッチング素子アレイ201a、201b、201cはそれぞれ、上記スイッチング素子を紙面に対して垂直な方向に複数、必要画素数分、例えば1000個を1次元に配列したものであり、これによりライトバルブを構成している。

【0082】このプロジェクションディスプレイでは、RGB各色の光源200a、200b、200cから出た光は、それぞれ光スイッチング素子アレイ201a、

201b、201cに入射される。なお、この入射角は偏光の影響がでないように、なるべく0に近くし、垂直に入射させるようにすることが好ましい。各光スイッチング素子からの反射光Pは、ダイクロイックミラー202a、202b、202cによりプロジェクションレンズ203に集光される。プロジェクションレンズ203で集光された光は、ガルバノミラー204によりスキャンされ、投射スクリーン205上に2次元の画像として投影される。

【0083】このように、このプロジェクションディスプレイでは、複数の光スイッチング素子を1次元に配列し、RGBの光をそれぞれ照射し、スイッチング後の光を1軸スキャナにより走査することによって、2次元画像を表示することができる。

【0084】また、本実施の形態では、低反射時の反射率を0.1%以下、高反射時の反射率を70%以上とすることができるので、1,000対1程度の高コントラストの表示を行うことができると共に、素子に対して光が垂直に入射する位置で特性を出すことができるので、光学系を組み立てる際に、偏光等を考慮にする必要がなく、構成が簡単である。

【0085】以上実施の形態を挙げて本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態および変形例に限定されるものではなく、種々変形可能である。例えば、上記実施の形態では、光源としてレーザを用いて一次元アレイ状のライトバルブを走査する構成のディスプレイについて説明したが、図23に示したように、二次元状に配列された光スイッチング装置206に白色光源207からの光を照射して投射スクリーン208に画像の表示を行う構成とすることもできる。

【0086】また、上記実施の形態では、基板としてガラス基板を用いる例について説明したが、図24に示したように、例えば厚さ2mm以内の柔軟性を有する（フレキシブルな）基板209を用いたペーパー状のディスプレイとし、直視により画像を見ることができるようにしてもよい。

【0087】更に、上記実施の形態では、本発明の光学多層構造体をディスプレイに用いた例について説明したが、例えば光プリンタに用いて感光性ドラムへの画像の描きこみをする等、ディスプレイ以外の光プリンタなどの各種デバイスにも適用することも可能である。

【0088】

【発明の効果】以上説明したように本発明の光学多層構造体および光スイッチング素子によれば、基板上に、光の吸収のある第1の層、光の干渉現象を起こし得る大きさを有すると共にその大きさが可変な間隙部、および第2の層を配設した構造を有するようにしたので、間隙部の大きさを変化させることにより、入射した光の反射、透過若しくは吸収の量を変化させることができ、簡単な構成で、特に可視光領域においても、高速応答が可能に

なる。また、間隙部をなくして基板上に第1の層および第2の層をこの順で接する構造とすることにより、反射防止膜として利用することができる。

【0089】また、本発明の画像表示装置によれば、本発明の光スイッチング素子を1次元に配列し、この1次元アレイ構造の光スイッチング装置を用いて画像表示を行うようにしたので、高コントラストの表示を行うことができると共に、素子に対して光が垂直に入射する位置で特性を出すことができるので、光学系を組み立てる場合に、偏光等を考慮にする必要がなく、構成が簡単となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態に係る光学多層構造体の間隙部が「 $\lambda/4$ 」のときの構成を表す断面図である。

【図2】図1に示した光学多層構造体の間隙部が「0」のときの構成を表す断面図である。

【図3】図1に示した光学多層構造体の製造工程を説明するための断面図である。

【図4】図3の工程に続く工程を説明するための平面図である。

【図5】透明な基板と透明な膜を用いた光学多層構造体の間隙部が「0」の場合の特性を説明するための図である。

【図6】透明な基板と透明な膜を用いた光学多層構造体の間隙部が「 $\lambda/4$ 」の場合の特性を説明するための図である。

【図7】基板および第1の層が金属により形成された場合のアドミッタンスダイアグラムである。

【図8】図1に示した光学多層構造体の一具体例の反射特性を表す図である。

【図9】図8の例の低反射時の光学アドミッタンスを説明するための図である。

【図10】図8の例の高反射時の光学アドミッタンスを説明するための図である。

【図11】図1の光学多層構造体の他の具体例の反射特性を表す図である。

【図12】図11の例の低反射時の光学アドミッタンスを説明するための図である。

【図13】図11の例の高反射時の光学アドミッタンスを説明するための図である。

【図14】各材料の光学アドミッタンスをプロットしたアドミッタンスダイアグラムである。

【図15】基板と第1の層の光学アドミッタンスが第2の層の内側にあっても反射を0とすることができる例を説明するための図である。

【図16】第1の実施の形態の更なる他の変形例を説明するための断面図である。

【図17】光学多層構造体の静電気による駆動方法を説明するための断面図である。

【図18】光学多層構造体の静電気による他の駆動方法

を説明するための断面図である。

【図19】光学多層構造体の静電気による更に他の駆動方法を説明するための断面図である。

【図20】光学多層構造体の磁気による駆動方法を説明するための断面図である。

【図21】光スイッチング装置の一例の構成を表す図である。

*【図22】ディスプレイの一例の構成を表す図である。

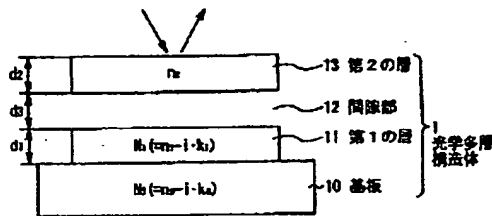
【図23】ディスプレイの他の例を表す図である。

【図24】ペーパー状ディスプレイの構成図である。

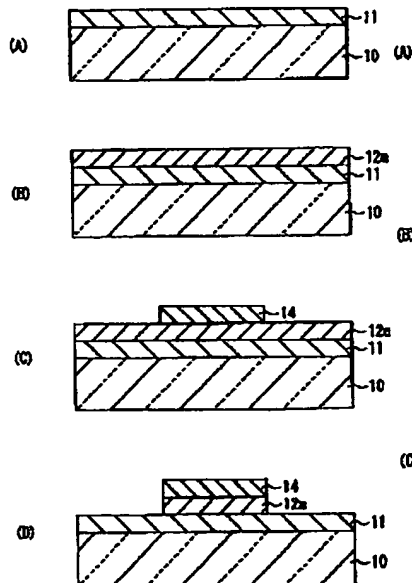
【符号の説明】

1、2…光学多層構造体、10…基板、11…第1の層、12…間隙部、13…第2の層、100…光スイッチング装置

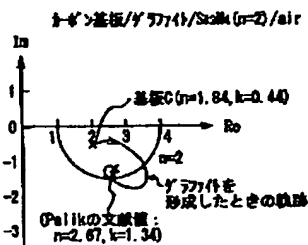
【図1】



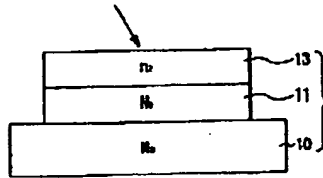
【図3】



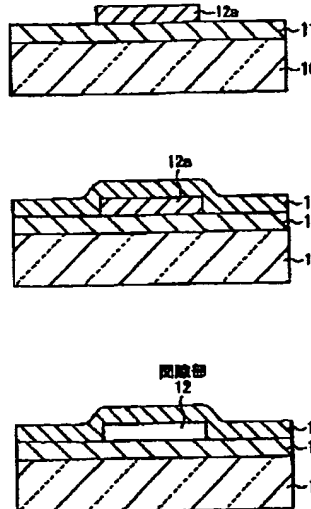
【図15】



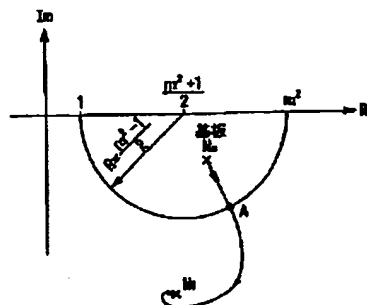
【図2】



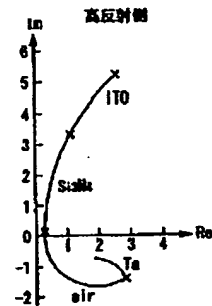
【図4】



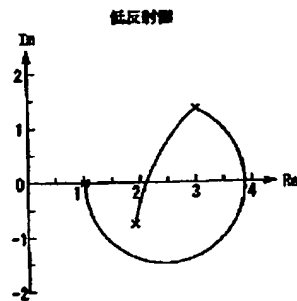
【図7】



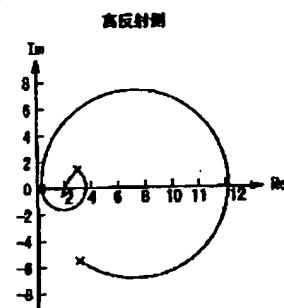
【図10】



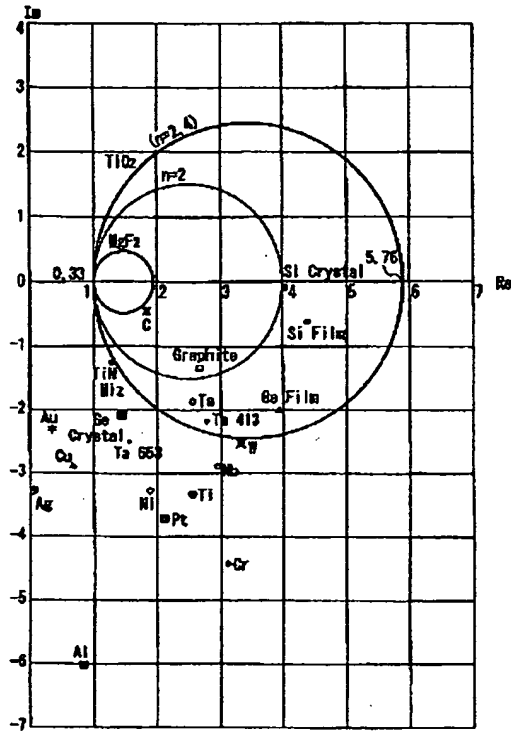
【図12】



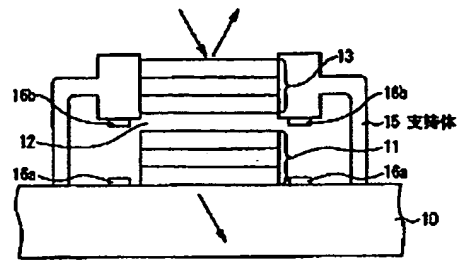
【図13】



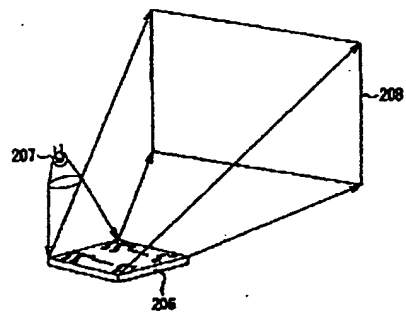
【図14】



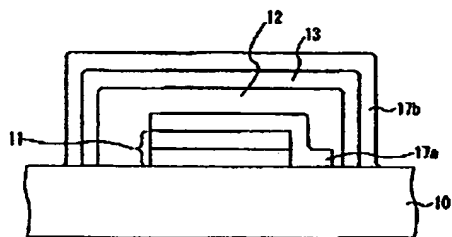
【図17】



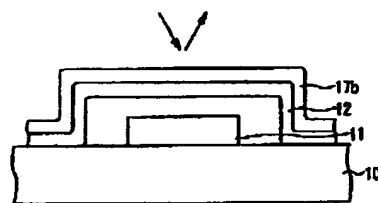
【図23】



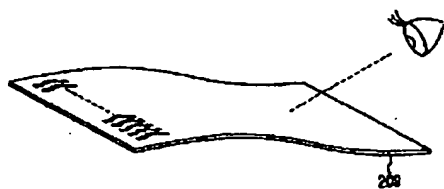
【図18】



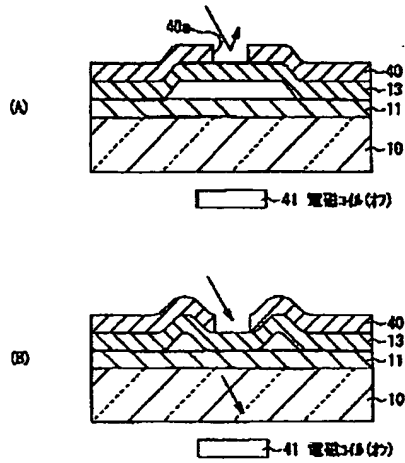
【図19】



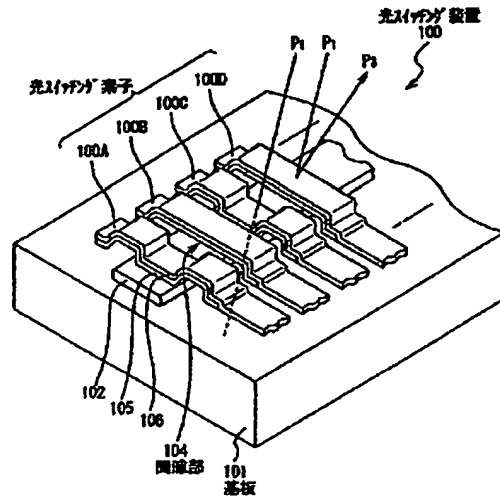
【図24】



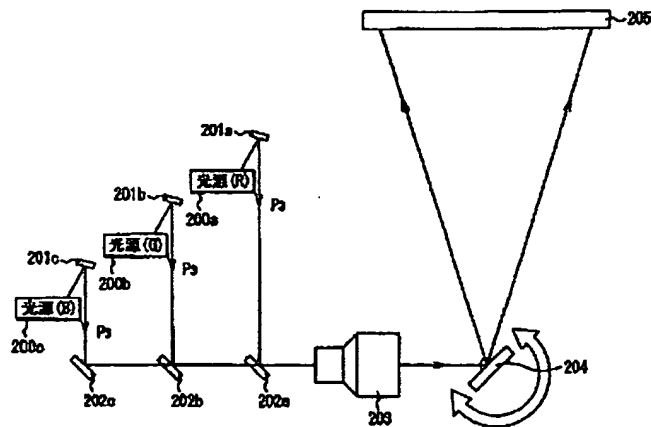
【図20】



【図21】



【図22】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

G09F 9/37

H04N 5/74

識別記号

FI

H04N 5/74

G02B 1/10

キーワード (参考)

B 5G435

Z

Fターム(参考) 2H041 AA16 AB40 AC06 AZ01 AZ08
2H048 GA07 GA12 GA23 GA35 GA51
GA60 GA61
2K009 AA00 AA05 BB02 BB04 CC00
CC03 CC14 CC42 DD03 EE00
5C058 EA27
5C094 AA01 AA06 BA66 BA82 BA84
BA92 CA19 DA12 EA04 EB02
EB03 ED12 ED20 FB02 FB12
FB14 FB15
5G435 AA01 AA02 FF14 HH02 HH03